



УДК 551.511+533

ДИНАМИКА ВЫБРОСОВ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

И. М. Баянов

Институт механики УНЦ РАН, Уфа

Аннотация. Представлены результаты теоретических исследований особенностей и эффектов динамики тяжелых многофазных выбросов в приземном слое атмосферы.

Ключевые слова: приземной слой атмосферы, выбросы, тяжелый газ

В последние десятилетия большой интерес исследователей вызывают проблемы движения выбросов в атмосфере. Причиной этого является сложная экологическая обстановка в мегаполисах, регионах с развитой металлургической, химической и нефтеперерабатывающей индустрией. Проблема носит глобальный характер как в плане актуальности для всех промышленно развитых стран, так и в связи с глобальными изменениями климата. Сложность поставленных перед исследователями задач обусловлена трудно предсказуемым поведением атмосферы, многокомпонентным и многофазным составом выбросов, а также взаимодействием выбросов с составляющими атмосферного воздуха.

Наиболее эффективным методом исследований в этой области являются натурные эксперименты, которые позволяют получить основную информацию о состоянии атмосферы, характерных особенностях движения и взаимодействия выбросов с окружающим воздухом. В последние десятилетия были проведены серии экспериментов по рассеянию выбросов в атмосфере [1, 2]. Но эти исследования требуют больших материальных затрат. Благодаря успехам в развитии компьютерной техники в настоящее время наиболее рациональным и распространенным методом является численное

моделирование динамики выбросов. Широко известны теоретические работы отечественных ученых [3, 4]. Теоретические модели в соответствии с масштабами расстояний и времени делятся на глобальные, региональные и локальные. Они описывают различные этапы движения примесей. Наряду с общими подходами в описании движения выделяются и важные особенности в этих классах моделей. В частности, в локальных моделях следует особо подчеркнуть тот факт, что существенная разность плотности смеси выбросов и плотности воздуха создает значительную силу плавучести, которая действует на облако выбросов и формирует характер его движения. В других классах моделей примеси являются пассивным участником движения воздушных масс.

К выбросам, значительно отличающимся от атмосферного воздуха по плотности, относятся тяжелые выбросы. Их изучение вызывает особый интерес, так как они наиболее опасны с точки зрения экологии (накапливаются и движутся вдоль земной поверхности) и обладают сложной динамикой (с фазовыми превращениями и тепловыделением).

К тяжелым выбросам относятся газообразные химические соединения с молярной массой больше, чем у воздуха, парогазокапельные смеси со средней плотностью больше плотности воздуха. Среди них есть ядовитые соединения (например, хлор), горючие газы (например, пропан). Анализ техногенных катастроф с выбросом тяжелых соединений в атмосферу показывает, что ущерб от аварий может многократно возрасти из-за последующих экзотермических химических реакций в образовавшейся смеси (например, взрыва смеси углеводородов с воздухом).

В данной работе представлены результаты теоретических исследований особенностей и эффектов динамики тяжелых многофазных выбросов в приземном слое атмосферы.

Этапы исследований обусловлены последовательным учетом физических процессов, определяющих характер движения выбросов в атмосфере.

На первом этапе на основе численного моделирования изучено формирование облака тяжелых выбросов с учетом силы плавучести, конвективного и диффузионного переноса вещества, импульса и тепла под влиянием особенностей ландшафта местности. Установлены следующие закономерности движения. Во-первых, исходная форма облака не играет существенной роли в развитии облака тяжелого газа; во-вторых, существует предельная площадь, охватываемая облаком на подстилающей поверхности, превышающая начальное значение примерно на два порядка (Рис. 1). В-третьих, конфигурация облака тяжелого газа определяется особенностями ландшафта, в частности, фактором, эффективно замедляющим движение тяжелого газа, являются лесные насаждения (Рис. 2).

На втором этапе изучена роль фазовых переходов в динамике выбросов. Детально исследована роль диффузионного переноса пара и тепла в

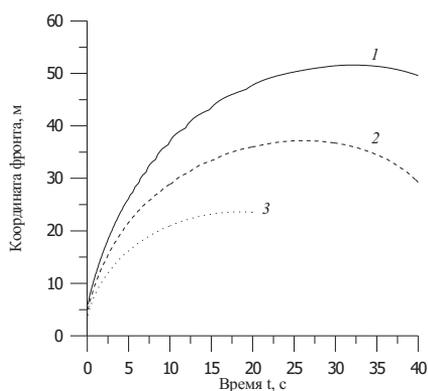


Рис. 1. Эволюция координаты фронта облака тяжелого газа при начальных значениях объема облака: 1 — 1000 м^3 , 2 — 512 м^3 , 3 — 216 м^3

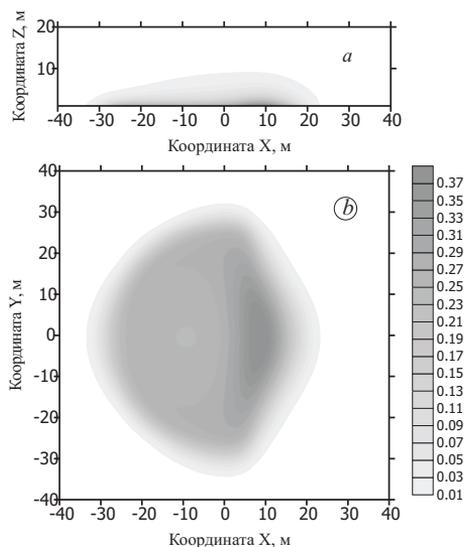


Рис. 2. Форма облака тяжелого газа при наличии лесополосы (а — разрез облака, б — вид сверху)

пограничной зоне облака выбросов с учетом фазовых переходов. Найдены аналитические решения задачи в диффузионном приближении, на основе которых составлена карта режимов перемешивания выбросов с окружающим воздухом (Рис. 3).

Построена теоретическая модель облака выбросов, которая позволяет рассматривать движение многофазной смеси как гомогенной среды и исследовать эффекты коллективного движения всей смеси с учетом фазовых переходов. На основе численных расчетов по этой модели изучена роль влажности воздуха и влагосодержания выбросов в динамике облака сухого пара. Получены режимы перемешивания выбросов с окружающим воздухом с конденсацией и без конденсации (Рис. 4).

Изучена динамика облака влажного водяного пара и показано, что определяющую роль в формировании плавучести облака играют фазовые переходы. Установлено, что наличие конденсата в исходном составе выбросов приводит к качественному изменению движения облака парогазокапельной смеси — в процессе перемешивания с окружающим воздухом плавучесть облака меняет знак (облако становится тяжелее воздуха, Рис. 5).

На третьем этапе исследованы процессы формирования облака горючих газов с последующим горением и определены характерные особенности производственных аварий в зависимости от массы горючего газа

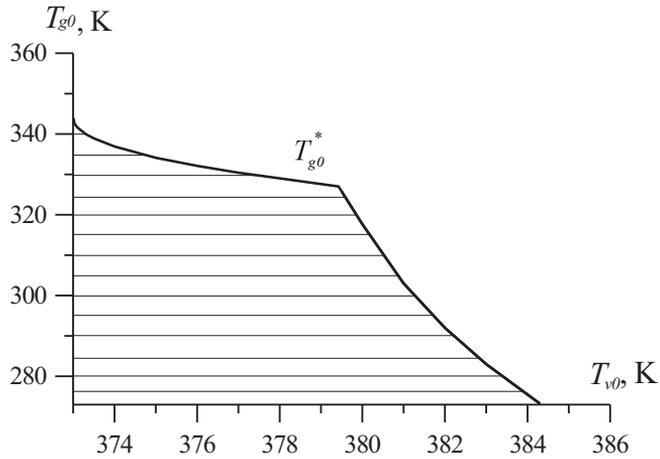


Рис. 3. Начальные значения температур водяного пара и воздуха, при перемешивании которых наблюдается конденсация (заштрихованная область)

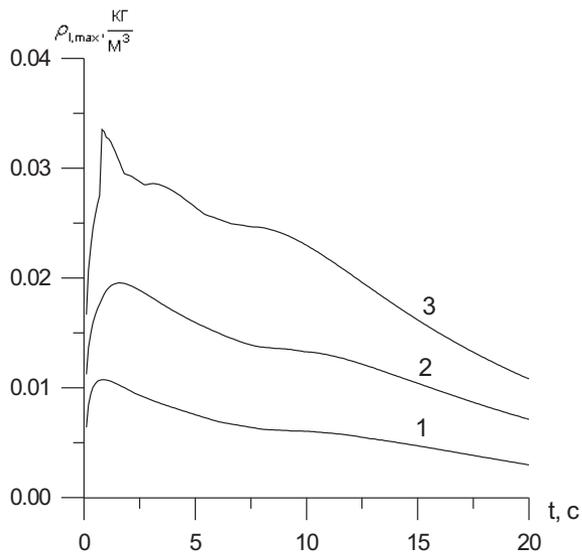


Рис. 4. Эволюция парциальной плотности конденсата в парогазокапельной смеси при различных исходных значениях влажности (1 — $\varphi = 50\%$, 2 — $\varphi = 75\%$, 3 — $\varphi = 100\%$). Жирная линия соответствует отсутствию конденсата ($\varphi = 25\%$)

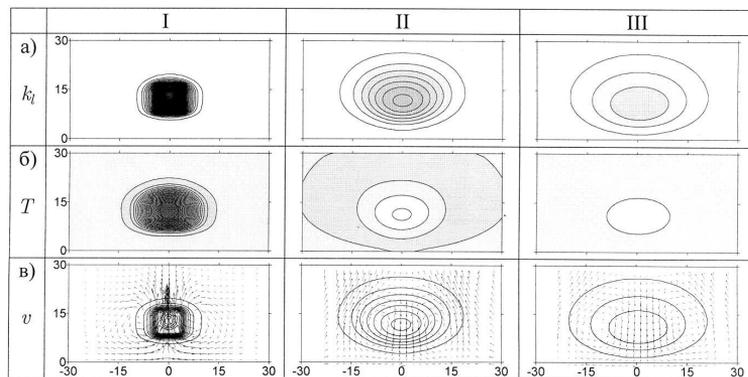


Рис. 5. Поля среднемассовой концентрации капель k_l , температуры T , скорости v при $t = 1, 20, 35$ с (размеры по горизонтали и вертикали указаны в метрах)

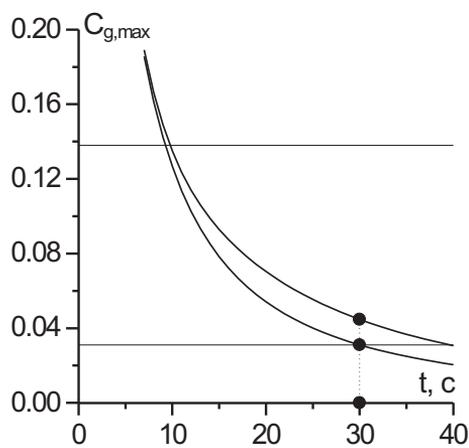


Рис. 6. Эволюция максимального значения массовой концентрации пропана в облаке выбросов в процессе перемешивания с окружающим воздухом при наличии (1) и отсутствии (2) наземных объектов. Горизонтальные линии указывают границы воспламеняемости смеси

в облаке выбросов, времени зажигания, конфигурации зданий. На основе расчетов проведена оценка периода взрывоопасности горючей смеси и найдены факторы, определяющие длительность этого периода (Рис. 6).

Список литературы

- [1] Nielsen M., Ott S., Jorgensen H. E., Bentgsson R., Nyren K., Winter S., Ride D., Jones Ch. Field experiments with dispersion of pressure liquefied ammonia // J. of hazard. mat. 1997. V. 56. Pp. 59–105.
- [2] Heinrich M., Gerold E., Wietfeldt P. Large scale propane release experiments over land at different atmospheric stability classes // J. of hazard. mat. 1988. V. 20. Pp. 287–301.
- [3] Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. М.: Наука, 1981. 320 с.
- [4] Пененко В. В., Алоян А. Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 254 с.